

留め付けねじの端あき強度試験

一般社団法人 日本鋼構造協会
 一般社団法人 日本金属屋根協会

当協会では、一般社団法人日本鋼構造協会と共同で、鋼板製屋根・外壁の設計・施工並びに維持保全や改修に関する手引き書『鋼板製屋根・外壁の設計・施工・保全の手引き MSRW2014』（以下、MSRW2014）を作成し、独立行政法人（現・国立研究開発法人）建築研究所の監修を受けて発行しました。

MSRW2014 の作成に際して各種の確認試験を実施しました。そこで今回はその中から、留め付けねじの端あき強度試験を掲載いたします。MSRW2014 の詳しい内容は、2014 年 5 月号を参照下さい。

1. MSRW2014 で実施した試験

各種平板ぶき屋根は、吊子や屋根ふき材本体を留め付けねじあるいは釘などの留め付け用部品にて躯体構造に留め付ける。これらの留め付け部分は風荷重を躯体構造へ伝達するための経路として重要な部分であるが、近年の風災害事例の中にはこの部分において吊子鋼板が端切れしているケースも確認されている（写真 1）。一般に、留め付け用部品の下地からの引き抜き強度に関しては、留め付け用部品メーカーによる引き抜き試験値などが広く散見されるが、特に平板ぶき屋根に特化した薄鋼板端切れ強度のデータは

表 1 各種試験と MSRW2014 との対応関係

各種試験名	MSRW2014	機関誌
折板屋根の軒出長さにおける耐力比較試験（耐風圧性試験）	2.3～2.5 節	2014 年 12 月号
平板ぶき屋根の唐草つかみ込み耐力比較試験（線荷重載荷試験）	2.6～2.7 節	2014 年 6 月号
平板ぶき屋根の野地板直留め構法確認試験（温度伸縮繰り返し試験、引張試験）	2.6～2.7 節	2015 年 7・8 月号
鋼製下地への留め付け方法確認試験（ねじ引張試験）	2.3～2.8 節	2014 年 7・8 月号
留め付けねじの端あき強度試験（せん断方向、引き上げ方向引張試験）	2.3～2.8 節	本号
外壁材の飛来物耐衝撃性試験	2.8 節	2016 年 4 月号

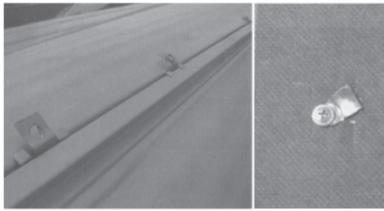


写真1 端切れ災害事例

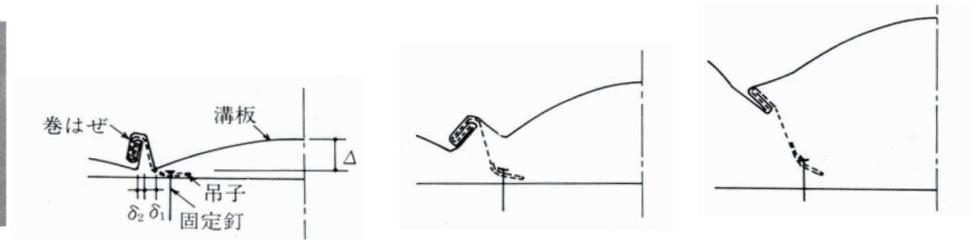


図1 平板ぶき屋根の終局状態

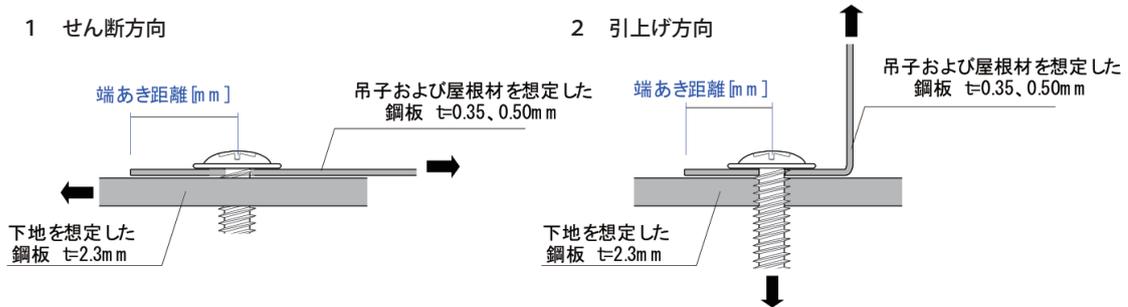


図2 せん断方向および引上げ方向の概念

少ないようであるため、今回の試験を実施した。試験実施においては、平板ぶき屋根の終局変形状況を想定した引張方向のパラメータ、また留め付けねじの頭形状のパラメータを用意し、それらの終局時の破壊性状および破壊荷重から薄鋼板端切れ現象の全体的な傾向を把握することを本試験の目的とした。本試験はまずは平板ぶき屋根を想定してはいるが、結果データはより全般的な薄鋼板の端切れ現象の理解、把握に資するものとして、折板のけらば包みなどを留め付ける際にも参考になるようパラメータを考慮した。

各種平板ぶき屋根の風荷重に対する終局状態はSSR2007に記載のあるように図1のような挙動を示す。ここで注目

すべき点は、平板ぶき屋根の留め付け部分が引張力を受ける方向はいずれの場合においても、完全な水平方向（せん断方向）あるいは完全な垂直方向（引上げ方向）ではなく、それらの中間的な角度の方向に引張られると考えられることである。しかもこの角度、方向は荷重漸増の過程において刻々と変化していくものとも考えられるため、試験実施時に角度、方向を固定することができない。そこで本試験においては最も極端な状況として、引張方向をせん断方向および引上げ方向の2パラメータにて実施し、実際にはそれらの中間的な挙動を示すものとする。せん断方向および引上げ方向の概念図を図2に示す。

2. 端あき距離に着目した試験

(1) 試験体仕様及び試験方法

試験体の形状寸法を図3に示す。留め付けねじはシンワッシャー M5、端切れ対象鋼板の板厚を $t=0.35\text{mm}$ とし、端あき長さや端部ヘミングの有無、および加力方向をパラメータとした。試験パラメータを表2に、また端切れ対象鋼板端部のヘミングの形状寸法を図4に示す。

本試験のような薄鋼板を留め付けねじにて留め付けた部分の強度試験においては、結果のバラツキが比較的大きい

表2 試験パラメータ

留め付けねじ	シンワッシャー M5
端切れ対象鋼板	板厚： $t=0.35$
端あき長さ	5,10,15,20,30
端部ヘミング加工	なし、あり
加力方向	せん断方向、引き上げ方向

ことが経験的に知られている。今回の試験においては挙動の全体的な傾向を把握することを目的とし、 $n=1$ としているが、実際の設計に反映させる数値取得を目的とした場合においては、 n 数を増やしバラツキも考慮したデータを基に設計用数値を設定すべきである。また、対象鋼板の機械的性質の影響による結果数値の変動も予想されるため、それらに対しても十分な配慮が必要である。



図4 端切れ鋼板端部のヘミング形状寸法

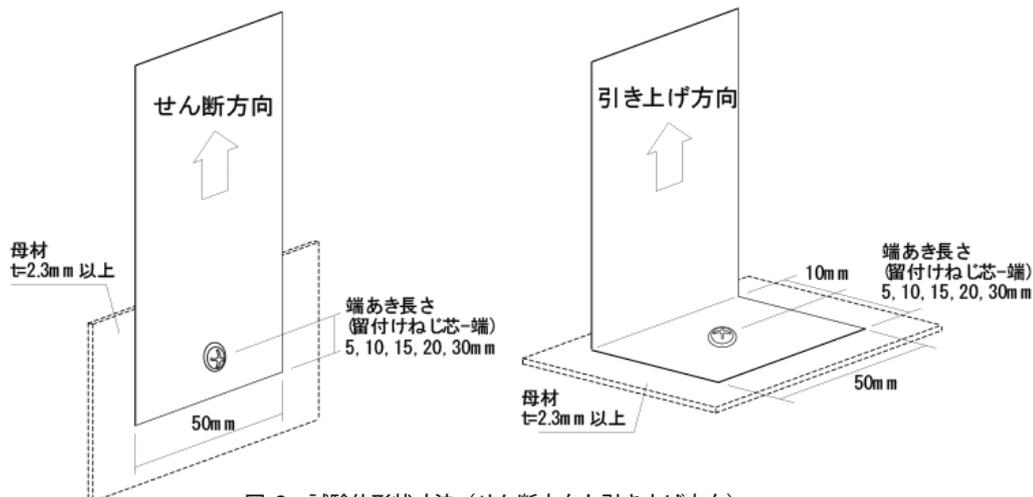


図.3 試験体形状寸法（せん断方向と引き上げ方向）

(2) 試験結果

a) せん断方向

最大破壊荷重の数値を表 3、横軸に端あき距離をとる最大破壊荷重のグラフを図 5、またヘミングなしの場合における荷重 - 変位例と終局状況を図 6 と写真 2 にそれぞれ示す。

せん断方向の端あき強度試験では、変位量 1 ～ 2mm 程度の载荷初期段階にて最大耐力を発現することが荷重 - 変位図から読み取れる。また最大耐力を発現時の変位初期状態においては、端切れ対象鋼板に留め付けねじ軸径とほぼ同幅のせん断引き裂き破壊が発生する傾向にあることが、終

局状況写真からわかる。最大耐力を発現時の破壊モード概念を図 7 に示す。

ヘミングなしの場合の最大耐力は、端あき距離およそ 10mm 以上ではほぼ一定値に安定するが、5mm 以下では著しく低下した。一方、ヘミングありの場合では、留め付け

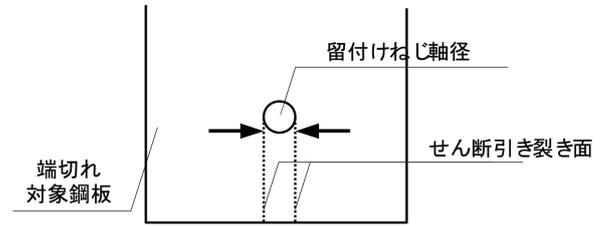


図 7 最大耐力を発現時の破壊モード

表 3 せん断方向の試験結果

端部ヘミング加工	端あき距離 (mm)				
	5	10	15	20	30
なし	0.758	1.326	1.384	1.492	1.474
あり	1.820	2.042	1.416	1.406	1.478

[単位: kN]

*試験実施: 日本パワーファスニング (株)

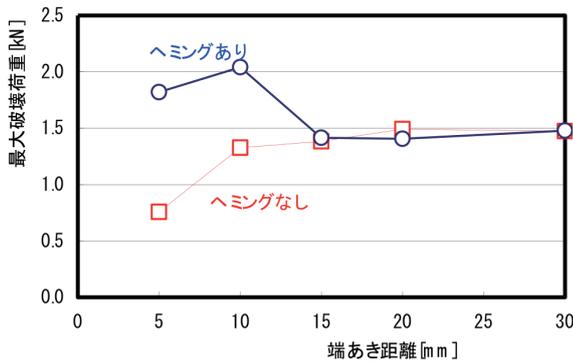


図 5 端あき距離と最大破壊荷重 (せん断方向)

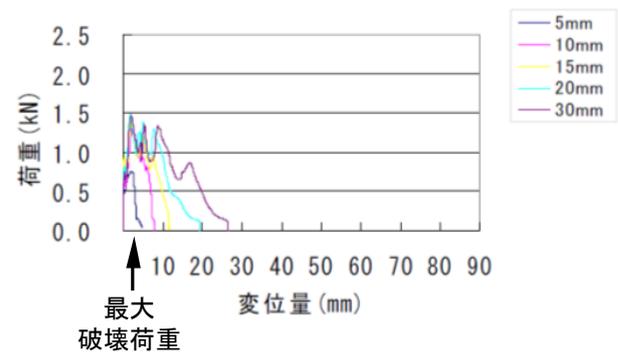
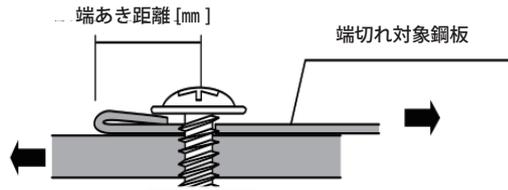


図 6 荷重 - 変位関係の例 (ヘミングなし)



写真 2 せん断方向の各端あき距離における終局状況 (ヘミングなし)

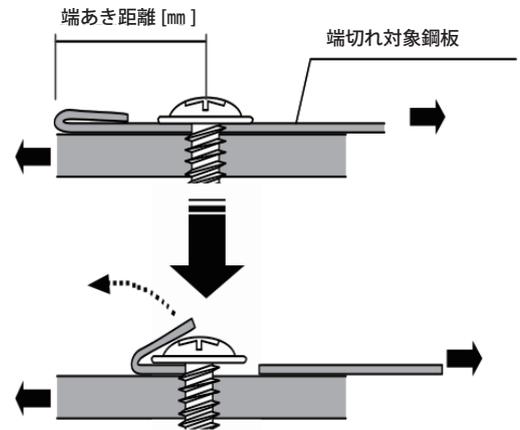
ねじの頭部がヘミング加工部にかぶる場合とかぶらない場合で破壊モードが異なった。留付けねじ頭かぶり有無による破壊モードの差異を図8に示す。かぶる場合(本試験では端あき距離が5~10mm)では最大耐力が上昇したが、かぶらない場合(本試験では端あき距離が15~30mm)では、ヘミングなしの最大耐力と大きな変化は見られなかった。これは図8bのように留付けねじの頭部がヘミング部の下に潜り込み、ヘミングの効果がないためと考えられる。



a. ヘミング部にかぶる場合 (端あき距離 10mm 以下)

b) 引上げ方向

最大破壊荷重の数値を表4、横軸に端あき距離をとる最大破壊荷重のグラフを図9に、またヘミングなしの場合の荷重-変位例と終局状況を図10と付写真3にそれぞれ示す。



b. ヘミング部にかぶらない場合 (端あき距離 15mm 以下)

図8 留め付けねじ頭部とヘミング部の位置関係による破壊モードの差異

表4 引上げ方向の試験結果

端部ヘミング加工	端あき距離 (mm)				
	5	10	15	20	30
なし	1.402	1.406	1.468	1.466	1.478
あり	1.550	1.550	1.514	1.370	1.434

[単位: kN]

*試験実施: 日本パワーファスニング(株)

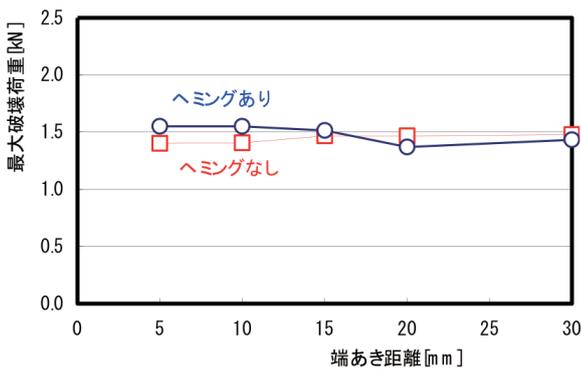


図10 端あき距離と最大破壊荷重 (引上げ方向)

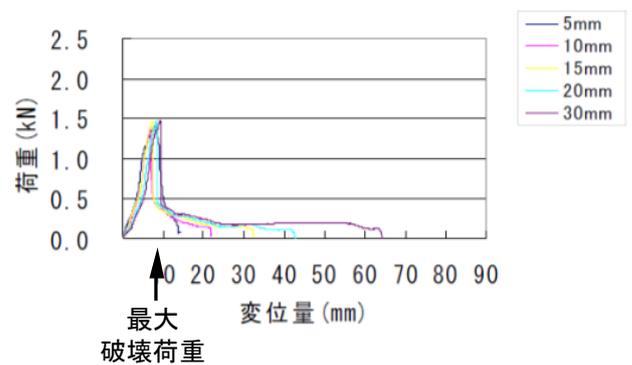


図10 荷重-変位関係の例 (ヘミングなし)

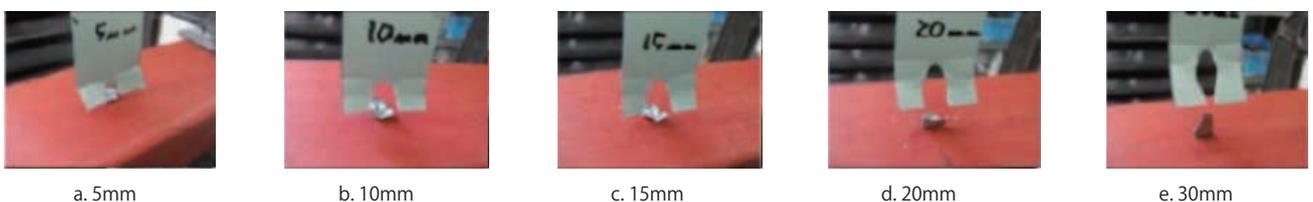


写真3 引上げ方向の各端あき距離における終局状況 (ヘミングなし)

引上げ方向の端あき強度試験では、変位量 6 ～ 8mm 程度の荷重段階にて最大耐力を発現することが荷重 - 変位図から読み取れる。これは荷重に伴い端切れ対象鋼板が変形し、留め付けねじの頭部がへりに押さえつけられた状態において最大耐力が発現する傾向にあることを示している。この時の変形状態および破壊状況の推移と破壊モードの概念を図 11 に示す。

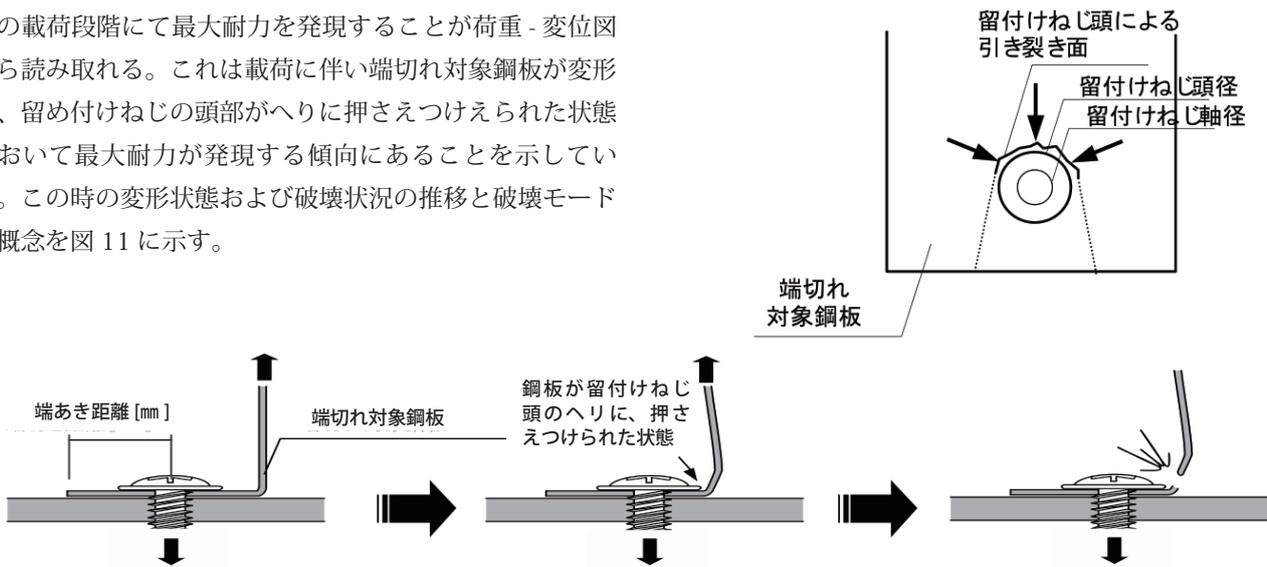


図 11 変形状態および破壊状況の推移と破壊モード

このように今回の試験結果においては、せん断方向と引上げ方向ではそもそも破壊のメカニズムが異なることがわかった。また引上げ方向においては、上記のメカニズムにより最大破壊強度が決まるため、端あき距離の大小、ヘミングの有無にかかわらず、最大耐力はほぼ一定値となった。

3. 留め付けねじの径及び頭部形状に着目した試験

(1) 試験体仕様及び試験方法

試験体の形状寸法及びヘミングの形状寸法は、端あき長さに着目した試験と同様とし、端あき長さは 15mm の一

定値とした。留め付けねじには一般的に用いられる 6 種類、端切れ対象の鋼板板厚には $t=0.35\text{mm}$ および $t=0.5\text{mm}$ の 2 種類、端部ヘミング加工の有無、及び加力方向をパラメータとした。試験パラメータの一覧を表 5 に示す。

本試験においても端あき長さに着目した試験と同様に、挙動の全体的な傾向を把握することを目的とし、 $n=1$ とした。実際の設計に反映させる数値取得を目的とした場合においては、 n 数を増やしバラツキも考慮したデータを基に設計用数値を設定すべきであることは、これも端あき長さに着目した試験と同様である。

表 5 試験パラメータ

端あき長さ	15mm
留め付けねじ	なべ M4、なべ M4 (平座金付) シンワッシャー M5 六角 M5、六角 M6 六角 M5 (座金・パッキン付)
端切れ対象鋼板	板厚： $t=0.35、0.5$
端部ヘミング加工	なし、あり
加力方向	せん断方向、引き上げ方向

(2) 試験結果

せん断方向、及び引上げ方向の最大破壊荷重一覧を表 5～6 に、また最大破壊荷重のグラフを図 12 にそれぞれ示す。

シンワッシャー M5 の対象鋼板板厚 $t=0.35\text{mm}$ を除き、いずれのパラメータにおいてもせん断方向より引上げ方向のほうが強度が低下する傾向にあった。しかし、せん断方向および引上げ方向のいずれの強度が大きいかについては、留め付けねじの径、頭の形状および対象鋼板の板厚によって変化しうることが確認された。平板ぶき屋根材の留

め付け部分においては、荷重の方向が一定にならないことが予想されるため、実設計の検討において留め付けねじの鋼板の端部端切れ強度を試験的に確認する場合、対象となる留め付けビスおよび鋼板板厚についてせん断方向および引上げ方向の双方の試験を行い、小さいほうの値により設計用耐力を決定すべきと考えられる。

4. まとめ

端あき距離に着目した試験においては、せん断方向に関してはヘミングなし試験体では端あき長さが 5mm 程度では耐力の低下が見られるが、10mm 以上ではほぼ一定値

表 6 せん断方向の試験結果

[単位：kN]

鋼板板厚 (mm)	端部ヘミング 加工	留め付け用部品					
		なべ M4	なべ M4 (平座金付)	シンワッシャー M5	六角 M5	六角 M6 (座金・パッキン 付)	六角 M6
t=0.35	なし	1.340	2.058	1.384	1.802	2.168	2.428
	あり	1.282	1.908	1.416	2.018	2.970	2.314
t=0.5	なし	2.500	3.218	2.466	3.734	4.006	4.652
	あり	2.592	3.908	2.890	4.108	4.744	4.264

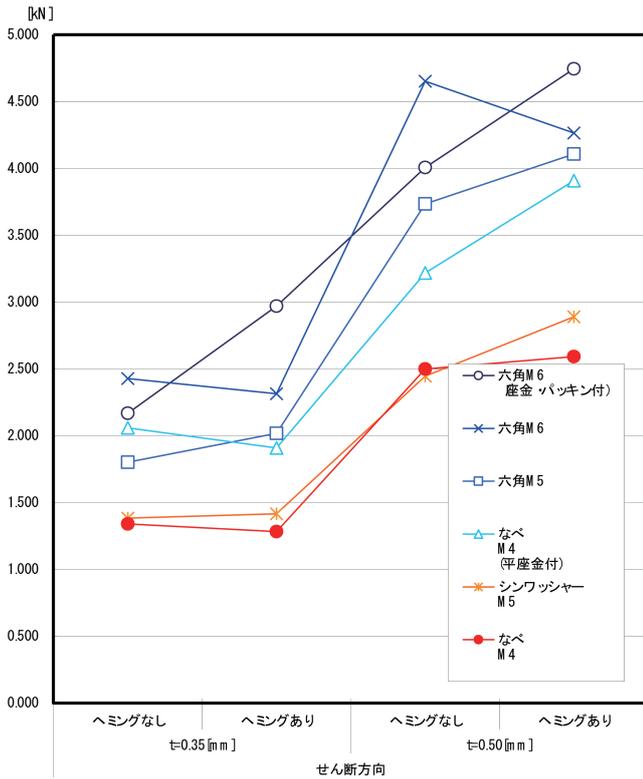
*試験実施：日本パワーファスニング（株）

表 7 引上げ方向の試験結果

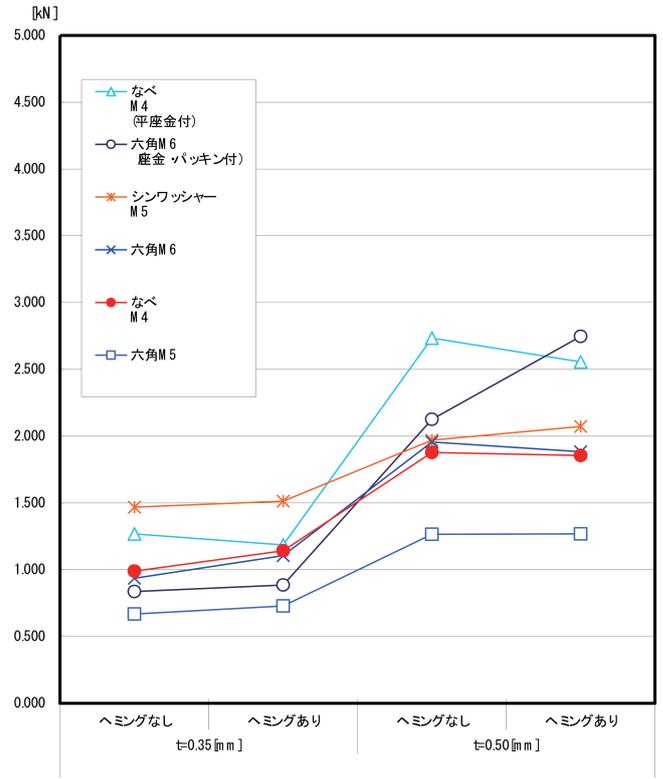
[単位：kN]

鋼板板厚 (mm)	端部ヘミング 加工	留め付け用部品					
		なべ M4	なべ M4 (平座金付)	シンワッシャー M5	六角 M5	六角 M6 (座金・パッキン 付)	六角 M6
t=0.35	なし	0.990	1.268	1.468	0.668	0.836	0.936
	あり	1.142	1.186	1.514	0.728	0.886	1.106
t=0.5	なし	1.878	2.734	1.970	1.266	2.126	1.956
	あり	1.856	2.556	2.072	1.268	2.746	1.884

*試験実施：日本パワーファスニング（株）



a. せん断方向



b. 引上げ方向

図 12 最大破壊荷重のグラフ

に安定することが確認された。一方ヘミングあり試験体では特に留め付けねじ頭がヘミングにかぶる場合においてのみ、ヘミング加工が強度アップに寄与するが、かぶらない場合ではヘミング加工による強度アップは期待できないことに注意が必要である。

また、同じく引き上げ方向に関しては、留め付けねじ頭のへりに押さえつけられた状態において最大耐力が発現する傾向にあるため、端あき距離の大小、ヘミングの有無にかかわらず、最大耐力はほぼ一定値となった。

最後に、留め付けねじの径および頭の形状に着目した試験においては、シンワッシャー M5 の対象鋼板板厚

t=0.35mm を除き、いずれのパラメータにおいてもせん断方向より引上げ方向のほうが強度が低下する傾向にあった。しかし、せん断方向および引上げ方向のいずれの強度が大きいかについては、留め付けねじの径、頭の形状および対象鋼板の板厚によって変化しうることが確認された。平板ぶき屋根材の留め付け部分においては、荷重の方向が一定にならないことが予想されるため、実設計の検討において留め付けねじの鋼板の端部端切れ強度を試験的に確認する場合、対象となる留め付けビスおよび鋼板板厚についてせん断方向および引上げ方向の双方の試験を行い、小さいほうの値により設計用耐力を決定すべきと考えられる。